

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 01-143127
 (43)Date of publication of application : 05.06.1989

(51)Int.Cl.

H01J 37/244
 H01J 37/22

(21)Application number : 62-299332

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 27.11.1987

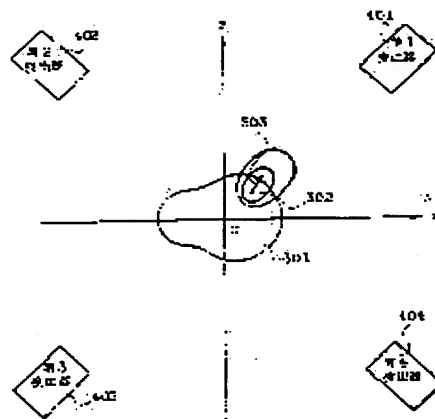
(72)Inventor : KATO MAKOTO
 HONMA KOICHI
 FURUMURA FUMINOBU
 FURUYA HISAHIRO

(54) SURFACE SHAPE MEASURING METHOD BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

(57)Abstract:

PURPOSE: To shorten the process time and correctly calculate the normal line direction or inclination by using the relationship between the signals obtained from four detectors or their integral times detectors and differential coefficients of two directions crossing at right angles.

CONSTITUTION: A sample is scanned by a focused electron beam, and secondary electrons emitted from the surface of the sample are detected by four detectors 401W404. The secondary electrons emitted from the secondary electron emission point 302 on the sample 301 are emitted in four directions according to the cosine rule. Since the four detectors are applied with the electric field between them and the sample to collect secondary electrons respectively, the secondary electrons emitted toward the first W fourth quadrants are gradually bent by the electric field on their orbits and detected when they reach the first-fourth detectors 401W404. In this case, the relational expression between the signals obtained by the detectors and the differential coefficients of two directions crossing at right angles in the normal line direction of the surface or on the horizontal plane is used to determine the differential coefficients of positions on the sample, the differential coefficients are added or integrated in sequence, and the surface shape of the sample is measured. The process time is thereby shortened, and the normal line direction or inclination can be correctly calculated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平1-143127

⑤ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

④ 公開 平成1年(1989)6月5日

H 01 J 37/244
37/22

7013-5C
7013-5C

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

④ 発明の名称 走査電子顕微鏡による表面形状測定方法

① 特 願 昭62-299332

② 出 願 昭62(1987)11月27日

⑦ 発 明 者 加 藤 誠 神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内
⑦ 発 明 者 本 間 弘 一 神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内
⑦ 発 明 者 古 村 文 伸 神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内
⑦ 発 明 者 古 屋 寿 宏 茨城県勝田市市毛882番地 株式会社日立製作所那珂工場内
⑧ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
⑧ 代 理 人 弁理士 磯村 雅俊

明 細 書

1. 発明の名称

走査電子顕微鏡による表面形状測定方法

2. 特許請求の範囲

1. 試料上を集束した電子ビームで走査し、試料の表面形状に応じて放出される二次電子を検出し、検出信号量と画像濃度とを対応させて画像化する走査電子顕微鏡において、試料を囲む如く、4個あるいはその整数倍の個数の検出器を取付け、該検出器から得られた信号と面の法線方向あるいは水平面内の直交する二方向の微分係数との関係式を用いて、試料上の各点の前記微分係数を求め、該微分係数を逐次的に加算あるいは積分することにより試料の表面形状を測定することの特徴とする、走査電子顕微鏡による表面形状測定方法。

2. 前記関係式は、試料を囲む4個の検出器の信号値、あるいは4の整数倍の個数の検出器を同数の検出器から成る4つの組に分けた各組の信

号値の和を、それぞれ、時計回りまたは反時計回りに、90度毎に I_A, I_B, I_C, I_D とし、 I_A と I_D の方向を二等分した方向を x 軸、 I_B と I_C の方向を二等分した方向を y 軸、高さ方向を z 軸、表面の方程式を $z = h(x, y)$ とするとき、次の式であることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の走査電子顕微鏡による表面形状測定方法。

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{I_B + I_C - I_D - I_A}{\sqrt{3(I_A + I_B + I_C + I_D)^2 - 2((I_A + I_B)^2 + (I_B + I_C)^2 + (I_C + I_D)^2 + (I_D + I_A)^2)}}$$
$$\frac{\partial h}{\partial y} = \frac{I_C + I_D - I_A - I_B}{\sqrt{3(I_A + I_B + I_C + I_D)^2 - 2((I_A + I_B)^2 + (I_B + I_C)^2 + (I_C + I_D)^2 + (I_D + I_A)^2)}}$$

3. 前記信号値 I_A, I_B, I_C, I_D および $\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial y}$

は、走査電子顕微鏡の特性等を考慮した、定数加算、定数乗算またはこれらの組合わせ等の補正がなされたものであることを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の走査電子顕微鏡による表面形状測定方法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は走査電子顕微鏡(以下、SEMという)による微細加工物等の表面形状測定方法に関し、特に高精度な測定を可能とするSEMによる表面形状測定方法に関する。

〔従来の技術〕

最近、画像の濃淡の情報を基にして表面形状を再構成する試みが盛んであるが、特開昭 62-6112号公報には、SEMに4個の反射電子検出器を取付け、予め標準試料を用いて求めた反射電子検出力と法線との関係をまとめておき、この関係を用いて試料上の各点の法線を求め、この法線情報に基づいて試料表面の立体形状を求める方法が開示されている。また、特開昭 56-150303号公報、特許登録第462147号(出願公告昭40-17999号)、ジャーナル・オブ・エレクトロン・マイクロスコープ第34巻、第4号第328～337頁(1985年)(Journal of Electron Microscopy vol.34, No.4 pp.328-337 (1985))では、SEMに対向する2つの反射電子あるいは二次電子の検出器を取付け、それらの検

することにある。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明の上記目的は、試料上を集束した電子ビームで走査し、試料の表面形状に応じて放出される二次電子を検出し、検出信号量と画像濃度とを対応させて画像化するSEMにおいて、試料を囲む如く、4個あるいはその整数倍の個数の検出器を取付け、該検出器から得られた信号と面の法線方向あるいは水平面内の直交する二方向の微分係数との関係式を用いて、試料上の各点の前記微分係数を求め、該微分係数を逐次的に加算あるいは積分することにより試料の表面形状を測定することとを特徴とする、SEMによる表面形状測定方法によって達成される。

〔作用〕

SEMでは、集束電子線で試料上を走査し、それに対応して試料表面から放出される二次電子、反射電子等を検出し、その強度を画像濃度として同期して走査するCRT上に表示する。

従来の方法の如く、経験的に画像濃度と法線方

向出力の差あるいは平方の差が、2つの検出器を結ぶ方向の傾きと概ね比例するという経験的事実を用いて、2つの検出器を結ぶ方向の断面上の各点の傾きを求め、この情報に基づいて断面形状を求めていた。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかし、上記特開昭 62-6112号公報では、標準試料の値と比較して法線方向を決定する操作に時間がかかり、また、基準試料の局所的な傷等が直接的に結果に影響する等の不都合な点があった。

また、他の2つの検出器を用いる方法では、傾きの計算式が経験的なもので、必ずしも正確でないこと、特に、検出器を結ぶ方向と直交する方向に傾き成分がある場合、傾きが不正確になるという問題があった。

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、従来のSEMによる表面形状測定方法における上述の如き問題を解消し、処理時間が短く、正確に法線方向あるいは傾きを計算可能なSEMによる表面形状測定方法を提供

向あるいは面の傾きを求めるのみでは不十分で、理論的な解析を加えることにより正確な法線あるいは傾きが得られる。

上記二次電子は、例えば、第3図において、試料301上の二次電子放出点302から、 π で示される法線303を中心として「余弦則」に従った強度で放出される。これについては、例えば、C.W.オートレイ著、紀本静雄訳「走査電子顕微鏡装置編」(コロナ社刊)の第4章を参照することができる。

具体的には、法線から α の方向の立体角 $d\Omega$ に放出される二次電子の数は、二次電子総数を N とすると、次の式で与えられる。

$$\frac{N}{\pi} \cos \alpha d\Omega \quad \dots (1)$$

この二次電子を、第4図に示す如く、第1～第4の四つの検出器401～404で検出する。試料301上の二次電子放出点302から放出された二次電子は、法線303の方向に最も多く放出されるが、前述の余弦則に従い、四方に放出される。四つの検出器では、それぞれ、二次電子を捕集するため試

料との間に電 をかけてある。このため、第4図の第1象限の方向に放出された二次電子は、次第に電 で軌道を曲げられ、第1検出器401に達し検出される。同様にして、第2象限の方向に放出された二次電子は第2検出器402に、第3象限の方向に放出された二次電子は第3検出器403に、第4象限の方向に放出された二次電子は第4検出器404に検出される。

なお、上述の物理的モデルに関しては、第33回応用物理学関係連合講演会資料, pp.356(2a-ZA-7)「微細形状の二次電子コントラストの理論解析」(1986)の記載が参考になる。

また、上記物理的モデルより $i = 1, 2, 3, 4$ とし、第 i 検出器の信号強度を I_i とすると、第3図に示す接平面304上の立体角領域に関するそれぞれの象限における次の立体角積分によって、 I_i を求めることができる。

$$I_i = \frac{N}{\pi} \int_{\text{接平面304上の第}i\text{象限方向の立体角領域}} \cos \alpha \, d\Omega, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad \dots (2)$$

立体角領域は、 x 軸を中心に回転しただけで不変であり、 $I_R/N, I_L/N$ は不変である。

〔補題2〕

半球上の $y = 0$ の断面上で、次の式 f は表面の x 微分に一致する。

$$f = \frac{I_L - I_R}{2\sqrt{I_R \cdot I_L}} \quad \dots (3)$$

〔補題2の証明〕

第6図に示すような通常の極座標表示をとる。

I_R に対する前記式(2)の積分は、法線を

$$\vec{n} = (\sin \theta_0, 0, \cos \theta_0)$$

とすると、次のようになる。

$$I_R = \frac{N}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \cos \alpha \sin \theta \, d\theta \, d\phi$$

但し、 (θ, ϕ) の方向ベクトルを

$$\vec{e} = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta) \text{ として、}$$

$$\cos \alpha = \frac{|\vec{n} \cdot \vec{e}|}{|\vec{n}| |\vec{e}|}$$

$$= \sin \theta_0 \sin \theta \cos \phi + \cos \theta_0 \cos \theta$$

また、 θ_{\max} は θ の積分範囲の上限で、接平面

この式は、二次電子の放出総量 N を含んでいるが、最終的には N と無関係な式にまとめるので、表面の傾斜角等によって変化する N に関する知見は不要である。

ここで、半球面上における次の三つの補題を証明しておく。半球面上には、すべての法線方向が揃っているので、半球面上での面の法線と画像濃度の関係は、そのまま一般試料の表面の法線を求めるのに用いることができる。

〔補題1〕

$$I_R = I_1 + I_2, \quad I_L = I_3 + I_4 \text{ としたとき、}$$

$I_R/N, I_L/N$ は第5図(a)の半球面501上の x 一定の断面502上で、一定値をとる。

〔補題1の証明〕

I_R は x 正方向に放出された二次電子の総和、 I_L は x 負方向に放出された二次電子の総和である ($N = I_R + I_L$)。断面502上では、法線、接平面と $y-z$ 平面(あるいは断面502)との位置関係は、 x 軸を中心に回転しただけで不変である。これより、 I_R, I_L に対する前記式(2)の積分の立

により決定される。具体的には平面 $\vec{n} \cdot \vec{e} = 0$ と、平面 $y = \tan \phi \cdot x$ の交線の θ を求めれば良い。 $0 \leq \theta_0 < \pi/2$ と考えると次の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sin \theta_{\max} &= \frac{1}{\sqrt{1 + \cos^2 \phi \tan^2 \theta_0}} \\ \cos \theta_{\max} &= \frac{\cos \phi \tan \theta_0}{\sqrt{1 + \cos^2 \phi \tan^2 \theta_0}} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

この積分は、解析的に評価でき、次の式で与えられる。

$$I_R = \frac{N}{2} (1 + \sin \theta_0)$$

同様にして、

$$I_L = \frac{N}{2} (1 - \sin \theta_0)$$

これより、 x 微分すなわち $-\tan \theta_0$ が求まり、

$$x \text{ 微分}(-\tan \theta_0) = \frac{I_L - I_R}{2\sqrt{I_R \cdot I_L}}$$

〔補題3〕

第5図(b)において、半球上の点Aにおける x 微分 p_0 と、点Bにおける y 微分 q_0 が与えられる

と、点Cにおける法線は次のように決定される。

$\vec{n} = (-p, -q, 1)$ として、

$$\left. \begin{aligned} p &= p_0 \sqrt{\frac{1+q_0^2}{1-p_0^2 q_0^2}} \\ q &= q_0 \sqrt{\frac{1+p_0^2}{1-p_0^2 q_0^2}} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

(補題3の証明)

球の方程式を $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$ とすると、点Aのx微分と点Bのy微分は、それぞれ次式で与えられる。

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{y}{\sqrt{R^2 - y^2}}$$

これらを、それぞれ p_0, q_0 とおくと、点Cのx微分、y微分は、それぞれ、

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{y}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}$$

本関係式は、経験的な式を用いていた従来の方法とは異なり、正確な理論式である。

法線が得られれば、この情報を逐次加算積分することにより、表面形状が得られる。

$x=i, y=j$ の点の高度、x微分、y微分をそれぞれ、 $z_{i,j}, p_{i,j}, q_{i,j}$ とすると、 $z_{0,0}$ を基準値として、 $z_{i,j}$ は、例えば、次のように求められる。

$$\begin{aligned} z_{i,j} &= z_{0,0} + \frac{1}{2} \sum_{n=0}^i (p_{n,0} + p_{n+1,0}) \\ &\quad + \frac{1}{2} \sum_{m=0}^j (q_{i,m} + q_{i,m+1}) \dots (7) \end{aligned}$$

(実施例)

以下、本発明の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。

第2図は、本発明の一実施例である。SEMに四個の二次電子検出器を取付けた表面形状測定装置のハードウェア構成図である。第2図において、試料101の電子銃102から放出された電子線103は、電子レンズ系104により収束偏向せられ、

と表わされるので、 p_0, q_0 を使って表わされ、題中の式が得られる。

以上の三つの補題を用い、第5図(b)の点Cにおける法線を、点Cにおける I_1, I_2, I_3, I_4 の値から決定することができる。

まず、補題1より、点Aの $I_R/N, I_L/N$ の値がわかる。補題2の式(3)は I_R, I_L に関して、分母分子同次なので、これから点Aのx微分を求めることができる。同様に、 I_1 と I_2, I_3 と I_4 を組にして (I_k, I_r とみなす)、同じ操作を繰り返すことにより、点Bのy微分を求めることができる。

ここで補題3を用いれば、目的は達せられる。その結果、点Cのx微分pとy微分qは、次のように与えられる。

$$\begin{aligned} p &= \frac{I_1 + I_2 - I_3 - I_4}{\sqrt{3(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)^2 - 2[(I_1 + I_2)^2 + (I_3 + I_4)^2 + (I_1 + I_3)^2 + (I_1 + I_4)^2]}} \dots (6) \\ q &= \frac{I_1 + I_3 - I_2 - I_4}{\sqrt{3(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)^2 - 2[(I_1 + I_2)^2 + (I_3 + I_4)^2 + (I_1 + I_3)^2 + (I_1 + I_4)^2]}} \end{aligned}$$

試料台105上の試料106上に入射する。これに対応して、上記試料106から二次電子107が放出され、第1検出器108、第2検出器109、第3検出器110、第4検出器111により検知される。

その信号は、キーボード112からの指示に基づいて作動するコンピュータ113により演算処理され、検出器の信号そのもの、あるいは、演算処理された結果は、ディスプレイ114に表示される。

第1図は、本発明の一実施例における処理のフローチャートである。ステップ201では各検出器の走査信号を入力する。ステップ202では、作用の項で説明した如き四つの検出器の信号から、面素のx軸方向の傾き成分と、面素のy軸方向の傾き成分を求める。本実施例では次の式を用いる。但し、上記検出器108~111の信号を、それぞれ、 I_1, I_2, I_3, I_4 としている。

$$\begin{aligned} p &= \frac{k_1 (I_1 + I_2 - I_3 - I_4)}{\sqrt{3(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)^2 - 2[(I_1 + I_2)^2 + (I_3 + I_4)^2 + (I_1 + I_3)^2 + (I_1 + I_4)^2]}} \\ q &= \frac{k_2 (I_1 + I_3 - I_2 - I_4)}{\sqrt{3(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)^2 - 2[(I_1 + I_2)^2 + (I_3 + I_4)^2 + (I_1 + I_3)^2 + (I_1 + I_4)^2]}} \end{aligned}$$

ここで、定数 k_1 と k_2 は、事前にキャリブレーションをして決めておく。すなわち、予め表面形状のわかっている試料を用いて測定を行い、上記定数 k_1 と k_2 を、その形状を最も忠実に表わすような値にとっておく。

ステップ 203では、上記ステップ 202で求めた傾き成分を基準点から一次元的に加算積分する。この加算積分は、例えば、前に示した式(7)に従って行う。

ステップ 204では、この結果を表示する。

本実施例によれば、SEMの形像原理に基づいた理論式を用いているので、歪みの少ない表面形状を高速に得られるという効果がある。

上記実施例は一例として示したものであり、本発明はこれに限定されるべきものではない。

〔発明の効果〕

以上述べた如く、本発明によれば、試料上を集束した電子ビームで走査し、試料の表面形状に応じて放出される二次電子を検出し、検出信号量と画像濃度とを対応させて画像化するSEMにおい

て、試料を囲む如く、4個あるいはその整数倍の個数の検出器を取付け、該検出器から得られた信号と面の法線方向あるいは水平面内の直交する二方向の微分係数との関係式を用いて、試料上の各点の前記微分係数を求め、該微分係数を逐次的に加算あるいは積分することにより試料の表面形状を測定するようにしたので、処理時間が短く、正確に法線方向あるいは傾きを計算可能なSEMによる表面形状測定方法を実現できるという顕著な効果を奏するものである。

4. 図面の簡単な説明

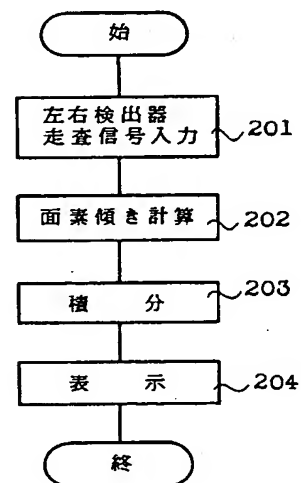
第1図は本発明の一実施例における処理のフローチャート、第2図はSEMに四個の二次電子検出器を取付けた表面形状測定装置のハードウェア構成図、第3図はSEMの形像過程を示す図、第4図は試料の回りの平面図、第5図、第6図は座標系を示す図である。

101: 鏡体、102: 電子銃、103: 電子線、104: 電子レンズ系、105: 試料台、106: 試料、107: 二次電子、108: 第1検出器、109: 第2検出器、

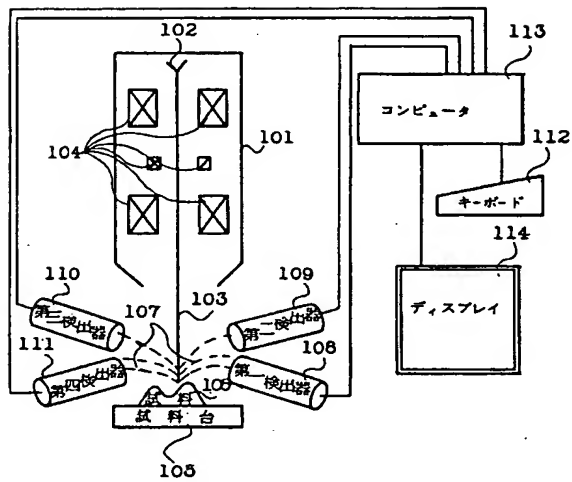
110: 第3検出器、111: 第4検出器、112: キーボード、113: コンピュータ、114: ディスプレイ。

特許出願人 株式会社 日立製作所
代理人 弁理士 磯村 雅 俊

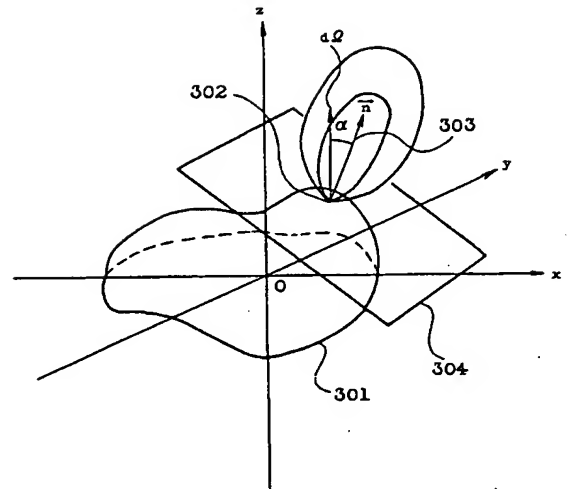
第 1 図



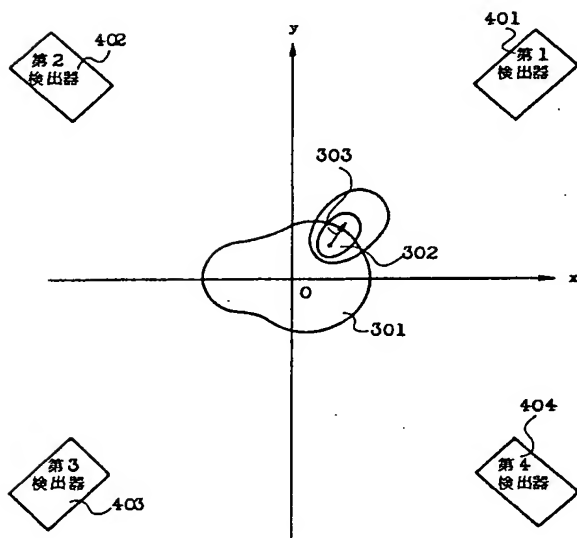
第 2 図



第 3 図

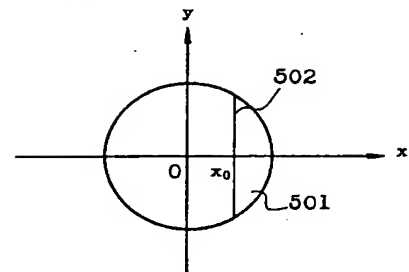


第 4 図

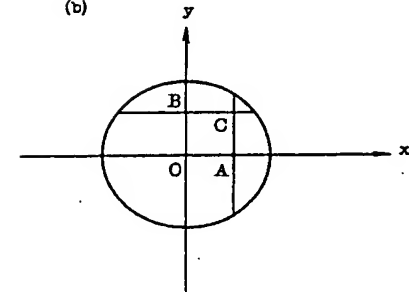


第 5 図

(a)



(b)



第 6 図

